

# 西双版纳热带山地利用过程中的土壤退化

张 萍, 刘宏茂, 陈爱国, 刘志秋, 付永能  
(中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 云南 昆明 650223)

**摘 要:** 土壤养分和土壤微生物生长代谢水平的衰退是热带山地退化的重要表现形式, 二者的变化基本是一致的, 即从热带雨林→33 a 次生林→6 a 轮歇地→4 a 轮歇地→旱谷地→橡胶林→荒草坡呈降低趋势; 相对于热带雨林而言, 不同利用方式土壤微生物和土壤养分状况均有不同程度的下降, 且随退化程度增高减幅增大, 土壤微生物衰减的速率比土壤养分的衰减更快。说明山地的退化严重影响着土壤微生物的生长代谢水平以及它们之间的协同作用, 从而影响土壤碳氮循环代谢途径, 降低土壤肥力水平。

**关键词:** 轮歇系统; 种植系统; 退化; 土壤微生物; 土壤养分

**中图分类号:** S158. 1; S154. 38; F301. 24      **文献标识码:** A

热带雨林是地球上生物多样性最富集而又极其脆弱的地区<sup>[1]</sup>, 其破坏已成为一个世界性的严重问题。在西双版纳, 轮歇农业(通常称为刀耕火种)普遍盛行, 使我国有限的热带雨林受到了严重破坏(森林覆盖率从60 %减少到27 %<sup>[2]</sup>), 导致生物多样性减少、生态环境恶化和土地退化。土地经过反复烧垦, 土壤薄层化、贫瘠化、沙质化等逆向发育, 造成大量的水土流失, 形成大面积的飞机草或茅草的荒草坡, 使土地长期丧失耕作性, 山地退化已构成该地区经济发展的重要制约因子。本文对西双版纳热带退化山地形成原因及形成过程进行了初步探讨, 力图为土地管理、农业持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 材料**

**样地概况:** 根据区内山地的主要利用方式, 在西双版纳勐仑(21°41'N, 101°25'E)大卡老寨, 选择环境条件(坡度、坡向、海拔)相似、相距不远而利用方式不同的样地, 于 1997-09-19~22 采样。当地热量丰富, 雨水充沛, 干湿季明显。年均气温21.4 °C, 年降雨量1 557 mm, 多集中于 6~9 月, 干季和雨季雨量分别为264 mm和1 293 mm, 年均相对湿度86 %。

**样地类型及利用状况:** 轮歇系统和种植系统是本区山地的两类主要利用方式。林地砍烧后, 通常

栽种1a~2a就让土地休闲以恢复地力, 休闲3a~6a后又进行新一轮的砍烧种植, 有的轮歇地开垦成种植园(茶园、橡胶林等), 而有的轮歇地经过反复烧垦则退化成荒草坡。热带雨林是当地的原生植被, 代表山地的原始利用状况, 作为对照地; 33 a生次生林代表人为干扰后又基本恢复的林地利用状况; 旱谷地、4 a和6 a轮歇地代表轮歇系统的不同阶段, 橡胶林代表种植系统的一个重要类型, 荒草坡代表山地退化后的状况。样地的基本情况见表1。

**土样:** 采用混合取样法。每种类型选3块样地, 每块样地S形挖8穴, 采0 cm~20 cm的土混匀为一份土样, 共得土样21份(表2), 立即带回室内进行各项测定。

**1.2 方法**

**1.2.1 土壤微生物的测定** 按文献<sup>[3]</sup>进行。细菌、真菌、放线菌的数量采用稀释平板法测定; 呼吸作用采用碱吸收滴定法; 微生物生物量采用三氯甲烷熏蒸法。

**2 土壤养分的测定** 采用常规的化学方法<sup>[4]</sup>。有机质含量测定采用重铬酸钾容量法, 全磷测定采用氢氟酸-高氯酸消解-钼锑抗比色法, 全钾采用氢氟酸-高氯酸消解, 原子吸收分光光度计法测定, 有效氮采用扩散吸收法测定, 速效磷采用盐酸-氟化铵浸提-钼锑抗比色法, 速效钾采用1N醋酸氨浸提, 原子吸收分光光度计测定。

表 1 样地的基本情况  
Table 1 Basic properties of the plots

利用类型(编号)	利用特性	主要植物种类	土壤类型
Using type	Using characters	Main plant species	Soil types
热带雨林(R)	原生植被	番龙眼( <i>Pometia tomentosa</i> )、千果榄仁( <i>Terminalia myriocarpa</i> )、玉蕊( <i>Barringtonia macrostachya</i> )	砖红壤
33 a 次生林(33)	耕种后休闲 33 a	白背桐( <i>Mallotus paniculatus</i> )、木姜子( <i>Litsea</i> sp.) 滇银柴( <i>Aponusa yunnanensis</i> )	赤红壤
6 a 轮歇地(6)	耕种后休闲 6 a	中平树( <i>Macaranga denticulata</i> )、滇银柴、机草( <i>Eupatorium odoratum</i> )	砖红壤
4 a 轮歇地(4)	耕种后休闲 4 a	黄牛木( <i>Cratoxylon ochin-chinensis</i> )、飞蓬( <i>Conyza canadensis</i> )、飞机草	赤红壤
旱谷地(H)	正在耕种	旱稻( <i>Oryza sativa</i> )	砖红壤
橡胶林(J)	橡胶龄平均 5 a	橡胶树( <i>Hevea brasiliensis</i> )	砖红壤
荒草坡(C)		白茅( <i>Imperata cylindrica</i> )、飞蓬、飞机草	砖红壤

表 2 热带山地利用过程中的养分退化(平均值)  
Table 2 Nutrient degradation of tropical hill slope in using

类型编号 Type no.	有机质 O.M(%)	有效氮 Available N (mg/ kg)	磷、钾养分全量 Total nutrient(%)		速效养分 Quick acting nutrient (mg/kg)	
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P	K
R	3. 41 (0. 41) <sup>1)</sup>	191. 66 (36. 72)	0. 028 (0. 002)	0. 53 (0. 07)	5. 52 (3. 35)	75. 80 (25. 54)
33	3. 34 (0. 18)	190. 08 (12. 89)	0. 033 (0. 002)	1. 32 (0. 26)	5. 10 (0. 24)	71. 67 (14. 22)
6	3. 16 (0. 17)	171. 20 (6. 98)	0. 052 (0. 015)	1. 49 (0. 15)	2. 57 (0. 50)	91. 67 (29. 83)
4	2. 83 (0. 77)	130. 88 (23. 30)	0. 028 (0. 004)	0. 71 (0. 41)	1. 17 (1. 24)	80. 00 (39. 05)
H	2. 27 (0. 39)	115. 34 (12. 07)	0. 027 (0. 001)	1. 33 (0. 12)	5. 50 (2. 44)	116. 67 (37. 61)
J	2. 17 (0. 41)	130. 54 (11. 04)	0. 029 (0. 004)	0. 62 (0. 10)	0. 35 (0. 43)	41. 67 (11. 27)
C	1. 75 (0. 083)	98. 00 (10. 00)	0. 022 (0. 002)	0. 30 (0. 10)	0. 36 (0. 18)	35. 80 (6. 01)

1)括弧内数据为标准差, n=3。

2 结果与讨论

2.1 土壤养分的变化

轮歇农业是西双版纳主要的耕作方式, 其耕作粗放, 几乎不投入, 地力的恢复依靠短期的休闲和砍烧。近年来, 随着人口的增长和轮歇地面积的减少, 轮歇周期逐渐缩短, 土地过度利用。

不同利用方式土壤养分变化表现出以下特征: 轮歇农业和单一种植, 使土壤向贫瘠化方向演变。从表2可见, 从热带雨林(R)→33 a次生林(33)→6 a轮歇地(6)→4 a轮歇地(4)→旱谷地(H)→橡胶林(J)→荒草坡(C), 除全磷和全钾的变化无规律性外, 土壤有机质、有效氮、速率磷和速效钾含量总体呈降低趋势; 相对于热带雨林而言, 0 cm ~ 20 cm耕地层土壤有机质、有效氮、速效磷和速效钾含量均有不同程度的减少(表3), 其中, 33 a次生林的减幅最低, 分别

仅减少了2.06 %、0.83 %、7.61 %和5.45 %, 而荒草坡的减幅最大, 有机质、有效氮、速效磷和速效钾分别从热带雨林的 3.41 %、191.66 mg/kg、5.52 mg/kg 和 75.8 mg/kg 减少到 1.75 %、98.00 mg/kg、0.36 mg/kg和35.80 mg/kg, 分别减少了48.69 %、48.87 %、93.48 %和52.78 %。说明经过33 a的恢复演替, 次生林的土壤养分状况已很接近原生植被, 同时也说明, 山地退化的表现之一是土壤养分含量的显著降低。从33→6→4→H→J→C, 土壤养分的减幅呈增大趋势, 橡胶林的养分衰退程度仅次于荒草坡; 轮歇地砍烧种旱谷后(旱谷快成熟), 土壤有机质和有效氮含量迅速降低, 衰退率与橡胶林相近, 但旱谷地的速效磷和速效钾含量均较高, 是否可以说明烧荒能增加土壤速效磷、钾的含量, 还有待进一步研究, 这也许是农民喜欢轮歇的原因之一。从磷的测定结果来看, 各样地的全磷含量均较低, 在 0.022 %~0.052 %间波动。

http://www.cnki.net

表 3 热带山地利用过程中的养分衰退率(%)  
Table 3 Percentages of nutrient degradation of  
tropical hill slope in using(%)

类型编号 Type No.	有机质 O.M	有效氮 Available N	速效养分 Quick acting nutrient	
			P	K
R	100.00	100.00	100.00	100.00
33	2.06	0.83	7.61	5.45
6	7.34	10.68	53.45	— 20.93
4	17.01	31.72	78.81	— 5.54
H	33.44	39.83	0.37	— 53.92
J	36.37	31.89	93.66	45.03
C	48.69	48.87	93.48	52.78

2.2 土壤微生物的变化

土壤短期供肥能力取决于土壤现有的养分状况,而长期供肥能力则与地上植被的归还和土壤微生物的生长代谢有关。枯落物必须经过微生物的分解作用才能被植物吸收利用,而有机质和土壤微生物在良好土壤结构的形成过程中起重要作用<sup>[5]</sup>;有机物质为微生物的生长提供营养源,而细菌的粘液和胶质以及真菌、放线菌的菌丝则能稳定团粒。我们测定了土壤微生物数量、呼吸作用和微生物生物量,由表 4 可见,土壤微生物的变化与养分的变化基本一致,集中表现在两个方面:其一,从 R→33→6→4→H→J→C,土壤微生物数量、呼吸作用和微生物生物量均呈降低趋势;相对于热带雨林而言,不同利

用方式土壤微生物状况均有不同程度的下降(表 5),且随退化程度增高减幅增大。表明随着山地退化程度的增高,土壤微生物的生长代谢水平显著降低,其衰减的速率比土壤养分的衰减更快(表 3);荒草坡的土壤微生物总数、呼吸作用、微生物生物量分别从热带雨林的  $324.0\times 10^4$  个/g 干土、 $CO_230.73\mu l/g$  干土 $\cdot h^{-1}$  和  $32.17\times 10^{-3}g/g$  干土,减少到  $44.0\times 10^4$  个/g 干土、 $CO_25.43\mu l/g$  干土 $\cdot h^{-1}$  和  $6.30\times 10^{-3}g/g$  干土,分别减少了 86.42 %、82.33 % 和 80.42 %;旱谷地和橡胶林也有较大的减幅。说明随退化程度增高,植被和环境条件的改变,地上归还的减少或枯落物养分含量降低,严重影响着土壤微生物的生长代谢水平以及它们之间的协同作用<sup>[9]</sup>,从而影响土壤碳氮循环代谢途径,降低土壤肥力水平。其二,4 a 轮歇地、6 a 轮歇地和 33 a 次生林,土壤微生物的生长代谢水平都有不同程度的恢复,其中,33 a 次生林已很接近原生植被的状况。

枯落物是土壤养分的主要来源,也是土壤微生物的主要营养源。不同利用方式枯落物的量和营养成分的不同以及环境条件的改变,必然导致土壤微生物生长代谢水平的改变,从而影响着土壤肥力水平。原生植被和 33a 次生林枯落物的量较大,营养较丰富,加之水热条件的适宜,枯落物易于被分解,土壤微生物的生长代谢水平较高,土壤也肥沃。相对

表 4 不同利用方式的土壤微生物状况(平均值)<sup>1)</sup>  
Table 4 Microbial values in soils of different using types

类型编号 Type no.	土壤含水量 Moisture (%)	微生物数量(104 个/ g 干土) Microbial quantity(× 10 <sup>4</sup> /g. dry soil)				呼吸作用 (CO <sub>2</sub> μl/ g 干土 · h <sup>-1</sup> )	微生物生物量 (× 10 <sup>-3</sup> g/ g 干土)
		细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomyces	总数 Total	Respiration (CO <sub>2</sub> μl/ g dry soil · h <sup>-1</sup> )	Microbial biomass (× 10 <sup>-3</sup> g/ g. dry soil)
R	23. 6	252. 2	9. 6	62. 2	324. 0	30. 73	32. 17
	(0. 53)	(22. 79)	(1. 47)	(15. 56)	(26. 61)	(2. 76)	(1. 58)
33	25. 6	283. 2	9. 4	34. 6	327. 3	28. 00	31. 08
	(1. 40)	(16. 93)	(1. 67)	(11. 78)	(16. 61)	(0. 75)	(1. 77)
6	22. 9	188. 1	5. 5	50. 6	244. 2	27. 90	21. 97
	(0. 81)	(16. 65)	(0. 87)	(5. 94)	(20. 37)	(2. 49)	(1. 13)
4	20. 1	179. 3	6. 4	28. 9	214. 6	23. 43	22. 88
	(4. 35)	(9. 31)	(1. 12)	(14. 87)	(21. 62)	(6. 55)	(3. 95)
H	13. 7	78. 0	4. 3	20. 7	102. 9	16. 73	16. 13
	(3. 49)	(27. 85)	(1. 22)	(8. 03)	(22. 39)	(4. 76)	(3. 62)
J	17. 5	108. 9	2. 3	5. 9	116. 9	8. 09	9. 12
	(2. 40)	(58. 49)	(0. 50)	(3. 72)	(62. 59)	(2. 76)	(1. 37)
C	14. 7	39. 6	1. 6	2. 9	44. 0	5. 43	6. 30
	(1. 39)	(3. 79)	(0. 64)	(1. 44)	(5. 19)	(0. 71)	(1. 10)

1) 括弧内数据为标准差, n=3。橡胶林微生物数量的标准差较大,可能与所选样地的定植年限不同有关。

表 5 山地利用过程中的土壤微生物衰退率(%)

Table 5 Percentages of microbial degradation of tropical hill slope in using(%)

类型编号 Type No.	微生物总数 Microbial total no.	呼吸作用 Respiration	微生物生物量 Microbial biomass	土壤含水量 Moisture
R	100.00	100.00	100.00	100.00
33	— 1.02	8.89	3.39	— 8.47
6	24.63	9.21	31.71	2.97
4	33.77	23.76	28.88	14.84
H	68.25	45.56	49.87	41.95
J	63.92	73.68	71.66	25.85
C	86.42	82.33	80.42	37.72

于热带雨林而言, 轮歇地枯落物的量和环境条件发生了较大改变; 植被在烧毁过程中, 植物的地上部分迅速转变为植物和微生物易吸收形态, 这种土壤种农作物确实会有一定肥力<sup>[7]</sup>。但是, 土壤完全裸露、热带山地降雨强度大且降雨时间集中等特点, 势必使土壤养分很快流失; 同时, 轮歇农业几乎不投入, 植被砍烧种旱谷后, 地上归还减少甚至停止, 环境条件变得干热, 从而导致土壤微生物生长代谢水平和土壤养分含量迅速下降, 仅能栽种1 a~2 a就必须让土地休闲以恢复地力。地力的恢复需要较长时间, 随着人口的增长和轮歇地面积的减少, 轮歇周期不断缩短<sup>[8]</sup>, 新一轮的烧垦将在土壤微生物和肥力状况较低的基础上循环, 这将导致它们进一步降低, 反复烧垦必然导致土地退化。橡胶林虽有一定数量的归还, 但每年养分的归还仅有雨林的 30%<sup>[11]</sup>, 而输出相对较大, 橡胶林的枯落物量较低, 枯落物中养分含量较低且含有乳汁不易被微生物分解, 是造成橡胶林土壤养分和微生物生长代谢水平较低的重要原因。

土壤养分和土壤微生物生长代谢水平的衰退是热带山地退化的重要表现形式。在恢复年限较短时就进行反复烧垦是导致热带山地退化的重要原因, 同时, 单一种植也使土壤的生物循环能力和肥力水平降至较低水平。土壤微生物和土壤结构主要受有机物质的影响, 林地被开垦或破坏后, 有机物质补充减少或分解减慢, 加之水热条件的改变, 是导致土壤微生物和团聚体稳定性下降的重要原因。因此, 若

能增加有机物质的投入, 改善环境条件(如实施混农林系统), 将减少对土壤微生物的破坏, 增加土壤养分含量, 控制土壤结构的稳定性, 从而有利于植被的生长, 增加农业产量。

现在, 轮歇农业仍然是西双版纳各山地民族的重要生活来源; 西双版纳是多山的地区, 山地面积占总面积的94 %以上, 加之降雨强度大且时间集中, 一旦森林被毁地表裸露后, 水土流失十分严重。寻找和研究热带山地的持续利用方式, 将是很有意义的课题。

致谢: 作者衷心地感谢张世玉老师在野外采样和室内分析中给予的指导和帮助。

参考文献:

[ 1 ] Wilson E O . Biodiversity[ M] . Washington: National Academy Press, 1988.

[ 2 ] 西双版纳自然保护区综合考察团. 西双版纳自然保护区综合考察报告[ M] . 昆明: 云南科技出版社, 1987.

[ 3 ] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[ M] . 北京: 科学出版社, 1985.

[ 4 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[ M] . 上海: 上海科学技术出版社, 1978.

[ 5 ] J. R. 埃塞林顿(曲仲湘译). 环境与植物生态学[ M] . 北京: 科学出版社, 1989.

[ 6 ] 龙章富. 川西北退化草地土壤微生物生化活性的初步研究[ J] . 土壤学报, 1995, 32(2): 221~ 227.

[ 7 ] 张萍. 刀耕火种对土壤微生物和土壤肥力的影响[ J] . 生态学杂志, 1996, 15(3): 64~ 67.

[ 8 ] 张萍. 论西双版纳的轮歇农业[ J] . 资源科学, 1999 ( 6).

# Study on Degradation of Tropical Hillslope in Using in Xishuangbanna

ZHANG Ping, LIU Hong-mao, CHEN Ai-guo, LIU Zhi-qiu and FU Yong-neng  
(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223 PRC)

**Abstract:** The studied area is located at the tropical area in Xishuangbanna where biological diversity is very rich but ecosystem is weak and Swidden agriculture is popular. With population growing, extensive cultivation and overuse of soil resources has resulted soil and environmental degradation, and restricted continuous development of countryside. It is necessary that the study on reason and process of degraded hillslope soil forming.

The swidden system and plantation system are the two main using types in the area. Race land, four years and six years swidden land are different periods in swidden agriculture. Rubber plantation represents an important type of plantation system. Rain forest and wasteland represent original land use and degraded soil respectively, being contrast. The soil samples were collected in September 1997. Microbial quantity, respiration, microbial biomass and nutrient content in the soils were determined, and their variation in soils of different land uses was analysed. The results indicate that the variation pattern of soil microbe is almost same as that of soil nutrient content. The soil microbial quantity, respiration, microbial biomass and nutrient content are all decreased from rain forest → 3 years of secondary forest → ix years of swidden land → our years of swidden land → rubber plantation → wasteland. The values of soil microbe and nutrient content of different land uses show different degrees of decreasing compared with that of rain forest, and the decreasing extent increased with the increasing degraded extent. It is revealed that the soil microbial growth and metabolism decreased significantly with the increasing of soil degraded extent, and its decreasing speed is rapider than that of soil nutrient. The result show that the change of vegetation and environment and reduce of amount or nutrition of litter fall damage the level of microbial metabolism and nutrient content in soil significantly.

The degradation of soil nutrition and microbial metabolism are the main aspects of tropical land degradation in Xishuanbanna. Burning and cultivating again in short time is an important reason resulting tropical land degradation, at the same time, the soil microbe and nutrient content in plantation are low too.

**Key words:** swidden system; plantation system; degradation; soil microbes; soil nutrition